

論文の内容の要旨

論文題目 III-V CMOS フォトニクス・プラットフォームにおける量子井戸インターミキシングによる能動・受動素子集積に関する研究

Study on Active-passive Integration by Quantum Well Intermixing on III-V CMOS Photonics Platform

氏 名 関根 尚希

(本文)

情報通信技術の発展に伴いより多くの情報がやりとりされるようになり、情報通信に費やされるエネルギー消費は年々増加傾向にある。大容量かつ長距離な通信には光通信が効率的であるが変調速度の増大とともに数十m程度の短距離通信でも光通信が用いられるようになってきている。このような中でより小型、省電力、低コストな光素子としてSiフォトニクス技術を用いたものが急速に発展している。従来の半導体素子とは異なりSiフォトニクスはSOI基板を用いることで基板垂直方向にも強く光を閉じ込めるマイクロメートルスケールの導波路デバイスが作製できることに特徴がある。しかし間接遷移半導体であるSiは通信波長帯での受発光素子には不向きである。我々はSOI構造と同様のIII-V-OI構造を利用するIII-V CMOSフォトニクス・プラットフォームを提案し、様々な素子が実証されている。従来のIII-V族半導体光素子と異なり基板に垂直な光閉じ込めが可能なため小型かつ省電力な光素子の実現が可能である。このようなIII-V-OI基板上に能動受動素子を集積することでチップスケールの光集積回路が実現可能となり様々な応用が期待される。能動受動素子集積には異なるバンドギャップをもつ材料を同一基板に集積する必要がある。本論文ではP₂分子の高温ステージ上での低エネルギー注入による量子井戸インターミキシングを行うことで能動受動素子集積が可能であることを示した。まず初めに基板貼り合わせプロセスの開

発により貼り合わせ基板の耐熱性を向上させた。量子井戸インターミキシングによる能動受動素子集積を実現する上でIII-V-OI基板の熱耐性を向上は不可欠であり、真空環境での貼り合わせと昇温速度の低速化により熱耐性を向上できることを示した。第二にこの手法で作製を行った貼り合わせ基板に対して量子井戸インターミキシングを行うことにより140nm程度のフォトルミネッセンスピーク波長のシフトが可能であることを明らかにした。この140nmのシフトを得ることで元のピーク波長帯でバンドエッジ吸収がないことが確認でき、貼り合わせ基板上においても量子井戸インターミキシングを行った領域に受動素子を作製可能であることを明らかにした。第三に同様の手法を用い能動素子である受光器と受動素子である導波路の集積を世界で初めて実証した。集積された受光器の感度は0.4 A/Wを示した。次にスロット型変調器をIII-V-OI構造に適用することで低損失・高速な変調器が実現可能なことを数値計算により示した。これまでIII-V CMOSフォトンクス・プラットフォームはpin接合によるキャリア効果や電界効果を用いた変調器が主であったが化合物半導体の場合はp型の低い移動度に起因する電気抵抗と光損失が変調器の性能を律速している。N型半導体だけで動作可能なEOポリマーを埋め込んだスロット型変調器をIII-V-OI構造に適用することで低損失・高速な変調器が実現可能であることを提案した。この変調器は化合物半導体変調器で主要なQCSEを用いる変調器と異なり変調原理がバンドギャップに依存しないため量子井戸インターミキシングプロセスとも親和性がある。最後に有機材料であるEOポリマーではなく強誘電体 $\text{Hf}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_2$ をスロット型変調器に適用することを提案し、Si導波路上に $\text{Hf}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_2$ を堆積し電界を印可することで電気光学効果を持つことを示した。 $\text{Hf}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_2$ はALDによって堆積することが可能なため、安定かつ均質なデバイスの作製が可能であり、量子井戸インターミキシングを用いた集積光回路応用に有望であると考えられる。

optional.

2. 論文博士は日本語で記入してください。（課程博士は英文でもよい。）
横書き、片面刷りとしてください。
2. **If you are obtaining your Doctorate degree by submitting a thesis (as a Ronpaku), your thesis summary must be written in Japanese.** (If you are obtaining your degree by completing the course requirements of a Doctorate program, a thesis summary in English is acceptable.)
The thesis summary is formatted with **horizontal writing and single-sided print.**
3. 大きさはA4判とし4ページ以内、10ポイント程度の活字で印刷したものとしてください。
(日本語の場合は4,000字以内（英語の場合は2,000語以内）とする。)
3. The thesis summary is to be printed on **A4-size paper** and digested into **four pages or less** using **approximately a 10 point type.**
(The restriction is **4,000 characters** for a Japanese summary and **2,000 words** for an English summary.)
4. 第1ページ上部に、タイトルを「論文の内容の要旨」とした上で、論文題目及び氏名を記入し、その下から内容の要旨を記載してください。
4. **In the upper part of the first page, the text “Thesis Summary” is typed and the title of the thesis and the name of the applicant are typed on subsequent lines. The main text of the thesis summary begins below the above heading section on the same page.**